

FAKTOR DOMINAN YANG BERPENGARUH PADA TINGKAT KONSUMSI OKSIGEN SEDIMEN DI TAMBAK INTENSIF UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*)

DOMINANT FACTORS AFFECTING SEDIMENT OXYGEN CONSUMPTION LEVEL IN INTENSIVE WHITE SHRIMP (*Litopenaeus vannamei*) POND

Hidayat S. Suwoyo^{1*}, K. Nirmala², D. Djokosetiyanto², dan Sri R.H. Mulyaningrum¹

¹Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau, Maros, Sulawesi Selatan

²Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor

*E-mail: yayhat_95@yahoo.com

ABSTRACT

Sediment oxygen consumption level is an indicator of mineralization process intensity and indicator of microorganism activity in the substrate, and also a description of dissolved oxygen consumption or utilization in a water body. This study aimed to evaluate factors of sediment quality which influenced sediment oxygen consumption level. The study was conducted at the experimental pond installation of Research Institute for Coastal Aquaculture (RICA), in Punaga, Takalar Regency, South Sulawesi, using two units of 4000m² intensive ponds with density of 50ind./m². Rearing period was approximately in 4months. Pond management was carried out in accordance with standard operating procedures. Homogeneity between experimental units was approached by the uniformity of pond management including pond preparation, shrimp seed management, feed management, and water management. Sediment quality variables measured were redox potential, pH, total organic matter, sediment oxygen consumption, total bacteria, and production aspect. The results showed that the factors which have close relationship with the sediment oxygen consumption were redox potential, organic matter, and total bacteria. The model could be used to predict the sediment oxygen consumption on white shrimp pond with the following regression equation $Y = 0.0000496 + 0.00025 \text{ organic matter} + 0.00037 \text{ total bacteria} - 0.00000948 \text{ potential redox}$ with $R^2 = 0.847$.

Keywords: *sediment oxygen consumption, sediment quality, pond, Litopenaeus vannamei*

ABSTRAK

Tingkat konsumsi oksigen sedimen merupakan indikator tingkat intensitas proses mineralisasi dan petunjuk adanya kegiatan mikroorganisme di dalam substrat serta gambaran kebutuhan oksigen yang dapat diketahui melalui konsumsi atau proses penggunaan oksigen terlarut di dalam tambak atau badan air. Tujuan penelitian adalah untuk menentukan faktor-faktor yang dominan berpengaruh terhadap tingkat konsumsi oksigen sedimen dasar tambak. Penelitian dilaksanakan di Instalasi Tambak Percobaan, Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau (BPPBAP), Desa Punaga, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan, menggunakan 2 petak tambak intensif dengan dasar tanah masing-masing berukuran 4000 m² dengan padat tebar 50 ekor/m². Lama pemeliharaan kurang lebih 4 bulan. Kegiatan pengelolaan tambak dilakukan sesuai dengan prosedur operasional baku. Kehomogenan antara satuan percobaan didekati dengan penyeragaman pengelolaan meliputi persiapan tambak, pengelolaan benih udang, pengelolaan pakan serta pengelolaan air. Variabel kualitas sedimen yang diukur meliputi profil potensial redoks, pH, bahan organik total, tekstur, konsumsi oksigen sedimen, total bakteri, dan aspek produksi. Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa faktor yang dominan berperan dalam menentukan tingkat konsumsi oksigen sedimen yakni bahan organik, total bakteri, dan potensial redoks. Model untuk memprediksi konsumsi oksigen sedimen dalam tambak udang vaname digambarkan dalam persamaan regresi $Y = 0,0000496 + 0,00025 \text{ bahan organik} + 0,00037 \text{ total bakteri} - 0,00000948 \text{ potensial redok}$ dengan nilai $R^2 = 0,847$.

Kata kunci: konsumsi oksigen sedimen, kualitas sedimen, tambak, udang vaname

I. PENDAHULUAN

Sejak diperkenalkan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) sebagai salah satu komoditas budidaya unggulan, kinerja perudangan nasional tampak menunjukkan produksi udang yang signifikan. Peningkatan produksi udang vaname dapat dilakukan melalui usaha budidaya secara intensif hingga super intensif dengan penerapan teknologi maju.

Kegiatan budidaya udang vaname yang dilakukan secara intensif memerlukan berbagai input budidaya seperti pakan, pupuk, kapur, benih udang, probiotik dan pergantian air baru akan memberikan pengaruh pada kandungan bahan organik pada air dan sedimen tambak. Kandungan bahan organik ini cukup tinggi, terutama yang berasal dari sisa pakan, sisa metabolisme/urine, organisme yang mati, pemupukan, pengapuran, pestisida yang digunakan serta kontribusi bahan organik dari sumber air yang masuk ke tambak melalui pergantian air. Akumulasi bahan organik di dalam media pemeliharaan tersebut memerlukan oksigen terlarut untuk menguraikannya (Boyd, 1991). Hasil monitoring yang dilakukan oleh Primavera (1994) terhadap tambak intensif menyebutkan bahwa 15 % dari pakan yang diberikan akan larut dalam air, sementara 85 % yang dimakan sebagian besar juga dikembalikan lagi ke lingkungan dalam bentuk limbah. Hanya 17 % dari jumlah pakan yang diberikan dikonversi menjadi daging udang, 48 % terbuang dalam bentuk ekskresi (metabolisme, kelebihan nutrisi), *ecdysis* (moulting) dan pemeliharaan (energi), 20 % dari pakan yang diberikan dikembalikan ke lingkungan dalam bentuk limbah padat berupa feses. Kondisi ini berpotensi untuk terjadinya defisit oksigen yang selanjutnya dapat menyebabkan kondisi anaerob dalam sistem budidaya. Keadaan ini bertambah berat karena bahan organik yang tersuspensi di dalam air menyebabkan kekeruhan dan mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air sehingga akan mempengaruhi regenerasi ok-

sigen secara fotosintetik (Ginting, 1995; Siregar dan Hasanah, 2006).

Akumulasi bahan organik dalam jumlah yang sesuai dengan daya dukung lahan akan berdampak positif, karena dapat dihasilkan unsur-unsur hara yang sangat bermanfaat bagi organisme perairan. Sebaliknya akumulasi bahan organik dalam jumlah yang tidak sesuai dengan daya dukung lahan akan berdampak negatif karena akan meningkatkan laju penurunan oksigen (*oxygen depletion rate*) dalam air dan peningkatan kebutuhan oksigen di sedimen dasar (*sedimen oxygen demand*) serta menurunkan potensial redoks ke tingkat reduksi (Meagaung, 2000). Bila hal ini berlanjut maka akan memperburuk kondisi lingkungan budidaya khususnya lapisan air dasar permukaan tanah dasar dan akan dihasilkan senyawa tereduksi seperti NH_3 , CH_4 dan H_2S yang bersifat toksik dan menciptakan habitat yang tidak sesuai bagi udang (Boyd, 1992). udang stres, nafsu makan berkurang, mudah terserang penyakit bahkan lebih parah lagi akan menyebabkan kematian (Poernomo, 1996).

Di sedimen tambak proses penguraian bahan organik menjadi lebih kompleks karena melibatkan aktivitas tidak hanya bakteri aerob, tetapi juga anaerob dan proses fermentasi. Sedimen tambak kaya akan nutrisi dan bahan organik. Konsentrasi nutrisi disedimen tambak jauh lebih tinggi daripada yang ada di badan air diperkirakan 1 cm ketebalan sedimen tambak umumnya terdapat 10 kali atau lebih jumlah nutrisi yang ada pada 1 m kedalaman badan air (Avnimelech dan Ritvo, 2003). Bahan organik yang melimpah di sedimen tambak, menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme sangat pesat, sehingga konsumsi oksigen di sedimen tambak menjadi banyak dan dapat mengakibatkan daerah dasar tambak di bawah permukaan menjadi daerah anoksik (tidak beroksigen).

Selama pemeliharaan udang bahan organik yang terakumulasi didasar tambak berupa sedimen akan semakin meningkat dengan bertambahnya umur pemeliharaan.

Peristiwa tersebut diikuti dengan penurunan potensial redoks tanah dan penurunan oksigen terlarut. Penurunan oksigen ini disebabkan karena oksigen banyak dipakai untuk respirasi udang yang terus meningkat biomasnya, penguraian bahan organik serta untuk mengoksidasi bahan-bahan yang lain. Kandungan oksigen dalam sedimen berpengaruh besar terhadap nilai redoks potensial dan pH sedimen selain itu dapat pula dijadikan sebagai kontrol reaksi kimia ion-ion antar air dan sedimen. Banyaknya bahan organik, jumlah bakteri yang hidup dalam substrat dan kurangnya sirkulasi air menyebabkan kadar oksigen dalam substrat menurun. Keadaan ini dapat mengubah kondisi substrat kedalam lingkungan reduksi (Emiyarti, 2004).

Menurut Anongponyoskun *et al.* (2012) yang melakukan penelitian mengenai oksigen budget pada budidaya udang vaname dimana neraca oksigen terlarut pada budidaya udang vaname di tambak diukur dengan parameter: 1) Tingkat penyerapan oksigen sedimen, 2) produksi oksigen dan tingkat konsumsi oksigen oleh air, 3) Tingkat konsumsi oksigen udang dan 4) tingkat aerasi oleh aerator. Kebutuhan oksigen terlarut merupakan faktor utama yang mempengaruhi proses dan kondisi di perbatasan antara air dan sedimen tambak. Ketersediaan oksigen terlarut pada sedimen merupakan indikator tingkat intensitas proses mineralisasi dan metabolisme komunitas benthik (Boyd, 1995 and Gunarto, 2006). Menurut Madenjian (1990) bahwa penggunaan total oksigen dalam tambak udang windu didominasi oleh mikroorganisme yang berada di sedimen, di air tambak dan udang masing-masing 51, 45, dan 4 %. Lebih lanjut dikatakan bahwa kebutuhan oksigen sedimen tambak udang yang diperoleh sebesar $298 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Suplee dan Cotner (1996) mendapatkan bahwa peningkatan kebutuhan oksigen pada sedimen tambak cukup tinggi dari $0,06 \text{ g O}_2/\text{m}^2/\text{jam}$ pada minggu ke tiga menjadi $0,24 \text{ g O}_2/\text{m}^2/\text{jam}$ pada akhir

pemeliharaan dengan kebutuhan oksigen maksimum $0,33 \text{ g O}_2/\text{m}^2/\text{jam}$. Bufford dan Longmore (2001) mendapatkan konsumsi oksigen sedimen di tambak udang berkisar antara $30 - 350 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Menurut Ellis (1992) bahwa kebanyakan data kebutuhan oksigen pada sedimen tambak yang telah dilaporkan berkisar antara $0,1 - 0,3 \text{ g O}_2/\text{m}^2/\text{jam}$ atau $2,4 - 4,8 \text{ g O}_2/\text{m}^2/\text{hari}$, yakni dengan membandingkan kandungan oksigen yang tersimpan dalam kolom air dengan kebutuhan oksigen oleh udang secara terus menerus. Kebutuhan oksigen sedimen terdiri atas lebih 50 % dari total kebutuhan oksigen tambak udang sampai akhir masa pemeliharaan. Almadi (2006) memperoleh konsumsi oksigen tanah dasar tambak tradisional berkisar antara $0,007 - 0,093 \text{ mg O}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ pada bagian pelataran dan $0,003 - 0,115 \text{ mg O}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ pada bagian caren. Adapun variabel yang mempengaruhi konsumsi oksigen sedimen tersebut yakni kandungan pirit, bahan organik, potensial redoks, umur tambak dan nilai pH tanah.

Tingkat konsumsi oksigen sedimen merupakan petunjuk adanya kegiatan mikroorganisme di dalam substrat dan merupakan gambaran kebutuhan oksigen yang dapat diketahui melalui konsumsi oksigen. Kualitas tanah merupakan salah satu aspek penting yang perlu dipertimbangkan dalam evaluasi kesesuaian lahan untuk budidaya tambak dan dapat memegang peranan positif dengan sifatnya yang menguntungkan bagi suatu penggunaan lahan dan sebaliknya dapat memegang peran negatif dengan sifatnya yang merugikan atau menjadi penghambat atau pembatas terhadap penggunaan lahan (Mustafa *et al.*, 2008). Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian ini, yang bertujuan untuk menentukan faktor-faktor dominan yang berpengaruh terhadap tingkat konsumsi oksigen sedimen dasar tambak budidaya udang vaname intensif. Penelitian ini dapat digunakan untuk memprediksi kondisi oksigen ditambak udang pada saat pemeliharaan berlangsung.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Instalasi Tambak Percobaan, Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau (BPPBAP), Desa Punaga, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan, menggunakan 2 petak tambak intensif dengan dasar tanah berukuran $\pm 4000 \text{ m}^2/\text{petak}$ dengan padat tebar 50 ekor/ m^2 . Lama pemeliharaan kurang lebih 4 bulan. Kegiatan pengelolaan tambak dilakukan sesuai dengan prosedur operasional baku. Kehomogenan unit percobaan didekati dengan penyeragaman pengelolaan: persiapan/persiapan tambak, pengelolaan benih udang (kesamaan asal benih, kriteria pemilihan benih, padat tebar, perlakuan dan cara tebar benih), pengelolaan pakan (ukuran, jumlah, frekuensi dan cara pemberian pakan selama pemeliharaan) serta pengelolaan air (penggantian air, aerasi, dan sistem tandon). Alat pengambilan dan pengukur contoh sesuai dengan variabel yang diukur disajikan dalam Tabel 1.

Sampel air dan sedimen diambil secara langsung di lokasi tambak udang. Sampel diambil sebanyak 3 titik pada masing-masing petak yakni pada bagian dekat sudut tambak, bagian sisi tambak yang terdapat sirkulasi air aktif serta bagian tengah tambak. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 8 kali dengan interval waktu setiap 2 minggu sekali selama pemeliharaan udang vaname.

2.1. Pengambilan Contoh Air dan Sedimen pada Tambak Udang

Pengambilan sampel sedimen menggunakan *sedimen core* diameter 8,5 cm, panjang >100 cm dan diberi tutup disalah satu sisi lubangnya (dop) agar sedimen tidak keluar. Sedimen diambil dari bagian permukaan dasar sampai pada kedalaman 5 cm. Contoh sedimen tersebut dimasukkan dalam plastik klip. Contoh sampel sedimen lalu disimpan dalam *cool box* yang telah diberi es sebelumnya. Sampel tersebut selanjutnya dianalisa di Laboratorium Kualitas Air dan Tanah, Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau, Maros, Sulawesi Selatan.

2.2. Pengambilan Contoh Bakteri pada Tambak Udang

Pengambilan contoh bakteri pada sedimen dilakukan sesuai tempat pengukuran konsumsi oksigen pada sedimen. Contoh bakteri di sedimen diambil dengan menggunakan spatula steril yang telah dibersihkan dengan kapas dan alkohol, lalu sampel sedimen diambil sekitar 3 – 5 gr lalu dimasukkan ke dalam botol steril. Contoh bakteri dari sedimen disimpan dalam *cool box* yang telah diberi es sebelumnya. Sampel tersebut selanjutnya dianalisa di Laboratorium Kesehatan Ikan dan Lingkungan Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau, Maros, Sulawesi Selatan. Sampel sedimen diencerkan secara seri (sam-

Tabel 1. Alat pengambilan contoh dan pengumpulan data.

Parameter	Satuan	Alat/metode	Lokasi
A. SEDIMEN/TANAH			
pH		Potensiometrik elektroda	Insitu
Potensial redoks	mV	Redox probe (Inode electro)	Insitu
Bahan organik total	%	Permanganat, titrimetrik	Lab
Tekstur		Metode boyoucos hydrometer	Lab
Konsm. oksigen sedimen	$\text{mgO}_2/\text{m}^2/\text{j}$	TPSTM WP-82 DO meters	Insitu
Laju sedimentasi	$\text{g}/\text{m}^2/\text{hari}$	Sedimen trap	Insitu
B. BIOTA			
Total Bakteri	CFU/g	Media agar TSA	Lab

pai 10^{-4}), dari setiap pengenceran diambil 100 μL (1 ml) dan disebar pada media *Tryptic Soy Agar* (TSA) dalam cawan petri, kemudian diinkubasi pada suhu ruang selama 24-48 jam. Koloni bakteri yang tumbuh selanjutnya dikarakterisasi secara morfologi berdasarkan bentuk, warna, elevasi, dan ukuran koloni bakteri yang terbentuk serta dilakukan perhitungan jumlah koloni bakteri yang tumbuh dengan metode *Total Plate Count* (TPC).

2.3. Pengukuran Konsumsi Oksigen Sedimen Tambak

Pendugaan tingkat konsumsi oksigen sedimen tambak dilakukan berdasarkan metode Boyd (1995), Alongi *et al.* (2005) dan Almadi (2006) dengan menggunakan 3 buah alat bantu chamber/bentik jar yakni alat yang terbuat dari kaca volume 1 L. Sebanyak \pm 200 gram sampel sedimen dasar tambak diambil dan dimasukkan ke dalam jar tersebut, sedangkan chamber/jar yang lain tanpa sedimen, kemudian keseluruhan chamber/bentik jar diinkubasikan selama 1 jam dalam wadah yang menggunakan air tambak. Oksigen terlarut diukur dengan alat pengukur O_2 (TPSTM Model WP-82 DO meters). Data laju respirasi selama proses inkubasi diperoleh dari data loger yang merekam dinamika kandungan oksigen terlarut diukur setiap lima menit. Pada prinsipnya pengukuran ini menggunakan media air untuk mengetahui oksigen yang dikonsumsi/digunakan oleh sedimen (substrat) dasar tambak dengan mengurangi oksigen terlarut awal dan akhir setelah diinkubasi selama 1 jam. Pengukuran tingkat konsumsi oksigen sedimen dilakukan sebanyak 3 titik pada masing-masing petak. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 8 kali dengan interval waktu setiap 2 minggu sekali selama pemeliharaan udang vaname. Data tersebut menunjukkan total konsumsi oksigen mikroorganisme di sedimen. Tingkat konsumsi oksigen pada sedimen (SOD) diukur menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Nolan dan Johnson (1979) dan Boyd (1995).

2.4. Analisis Regresi dan Korelasi

Untuk mengetahui hubungan fungsional antar variabel dengan tingkat konsumsi oksigen sedimen, maka dilakukan analisis keeratan hubungan dalam bentuk model regresi berganda. Persamaan regresi adalah persamaan matematik yang memungkinkan kita meramalkan nilai-nilai suatu peubah tak bebas dari nilai-nilai satu atau lebih peubah bebas. Regresi berganda adalah persamaan regresi dengan satu peubah tak bebas (Y) dengan lebih dari satu peubah bebas (X_1, X_2, \dots, X_p) (Mattjik dan Sumertajaya 2002; Iriawan dan Astuti 2006). Regresi berganda dalam penelitian ini digunakan untuk melihat pola hubungan antara konsumsi oksigen sedimen dengan variabel yang lain seperti bahan organik total, total bakteri, redoks potensial dan pH tanah. Sedangkan korelasi yakni dengan melihat derajat ketergantungan dalam hubungan antar variabel dengan menggunakan koefisien korelasi. Secara matematis, model regresi berganda tersebut dapat disajikan sebagai berikut :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \beta_4 X_{4i} + \beta_5 X_{5i}$$

Keterangan: Y_i = Kebutuhan konsumsi oksigen sedimen tambak, X_i =Variabel-variabel yang diambil yakni bahan organik total (X_1), total bakteri (X_2), redoks potensial (X_3), pH tanah (X_4), dan Lama Pemeliharaan (X_5) sebagai peubah bebas, β_0 = Intersep $\beta_1 \dots \beta_n$ = Koefisien regresi untuk peubah bebas X_i yang diperoleh dari pengamatan satuan percobaan ke- i .

Statistik deskriptif digunakan untuk mendapatkan informasi umum dari data yang ada. Dalam memilih persamaan regresi berganda terbaik maka digunakan prosedur eliminasi langkah mundur (*the backward elimination procedure*) (Mustafa dan Ratnawati, 2005), dengan bantuan perangkat lunak program SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) dan MINITAB versi 14.0, dimana digunakan uji F untuk menguji signifikansi model regresi dan uji t untuk menguji

signifikansi koefisien regresi dari variabel bebas pada taraf signifikansi sebesar 0,05

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa ukuran partikel penyusun tanah yang dominan yang dinyatakan dalam perbandingan relatif antara proporsi ukuran dari fraksi atau partikel penyusun tanah menunjukkan bahwa kedua tambak tersebut bertekstur lempung berpasir. Tekstur tanah tersebut layak untuk dijadikan tambak udang intensif. Hal ini sesuai dengan pendapat Poernomo (1996) bahwa persyaratan tanah khususnya tekstur tanah menentukan kalayakan tanah tersebut untuk dijadikan tambak udang intensif. Daya dukung lahan untuk pertambahan tinggi bila tekstur tanahnya terdiri dari liat berpasir, lempung berpasir, lempung berdebu dan lempung liat berpasir. Tekstur tanah sangat penting untuk diketahui karena dapat memberikan informasi yang berhubungan dengan tingkat stabilitas tanah, tingkat pergerakan air tanah, tingkat difusi gas ke udara atau sebaliknya, tingkat aktivitas mikroorganisme maupun flora fauna tanah dan jumlah bahan organik (Hanafiah, 2005). Menurut Mustafa *et al.* (2008) bahwa ketiga fraksi pembentuk tekstur tanah (pasir, liat dan debu) memberikan pengaruh signifikan terhadap produksi udang vaname di tambak. Terdapat kecenderungan penurunan produksi udang vaname pada kandungan liat lebih besar dari 30%. Juga terlihat bahwa peningkatan kandungan debu berdampak pada penurunan produksi udang vaname. Sebaliknya peningkatan kandungan pasir tanah lebih besar dari 21,8% berdampak pada peningkatan produksi udang vaname. Lebih lanjut dikemukakan bahwa kandungan liat dan debu yang tinggi dari dasar tanah tambak berdampak pada peningkatan kekeruhan air sehingga menghambat penetrasi cahaya dan transfer oksigen atmosfer kedalam badan air. Peningkatan kekeruhan air menghambat daya lihat dan mengganggu kerja organ pernafasan organisme akuatik.

Hasil pengukuran kandungan bahan organik total tanah pada keempat tambak berkisar antara 0,9062 – 2,9578 % dengan rata-rata 1,8340 %. Kandungan bahan organik total yang diperoleh cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya umur pemeliharaan udang vaname. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada budidaya udang intensif dengan padat penebaran tinggi digunakan pakan buatan dalam jumlah yang besar sebagai sumber gizi utama bagi udang. Pemberian pakan secara terus menerus selama budidaya berlangsung dan akan bertambah jumlahnya sejalan dengan pertumbuhan biomassa udang mengakibatkan peningkatan akumulasi bahan organik dari sisa pakan yang tidak termakan dan kotoran udang. Peterson dan Daniels (1992) melaporkan bahwa pada tambak yang baru dibuka diperoleh kandungan bahan organik yang rendah yaitu 1,26 %. Sedang menurut Monoarfa dan Hanafi (1997) pada tambak budidaya udang intensif bukaan baru mengandung 0,49 - 1,10 % bahan organik dan meningkat menjadi 4,77 - 13,24 % setelah beberapa kali siklus pemeliharaan. Boyd (1992) melaporkan bahwa pada tambak semi intensif dan intensif di Ecuador, Colombia, Thailand dan Philipina mengandung bahan organik total berkisar antara 0,24 - 9,50 % dengan rata-rata 1,86 %. Budiardi (1998) memperoleh kandungan bahan organik tanah dari 6 petak tambak penelitian meningkat dari 1,306 % menjadi 1,685 % dengan laju akumulasi berkisar antara 0,024 - 0,964 % dengan rata-rata 0,379 % selama 3 bulan pemeliharaan. Perbedaan kandungan bahan organik tanah ini sangat ditentukan oleh keberhasilan pengelolaan pakan dan lingkungan tambak serta kecepatan degradasi bahan organik. Redoks potensial (*Eh*) adalah besarnya nilai relatif dari proses oksidasi dan reduksi di lingkungan dasar perairan/tambak. Nilai yang lebih besar menunjukkan kondisi yang lebih teroksidasi (John *et al.*, 1989, diacu dalam Gunarto., 2006). Hasil pengukuran potensial redoks tanah yang diperoleh selama penelitian berkisar antara -157 sampai + 146

mV, pada bulan pertama dan kedua pemeliharaan udang nilai potensial redoks cenderung positif atau oksidasi. Keadaan oksidasi ini mencerminkan bahwa reaksi kimia yang terjadi pada tanah mengalami pengurangan elektron akibat penambahan oksigen atau proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme dilakukan pada suasana aerob. Setelah memasuki bulan ketiga hingga akhir pemeliharaan udang potensial redoks tanah terlihat cenderung negatif atau kondisi reduktif. Keadaan reduksi ini mencerminkan bahwa reaksi kimia yang terjadi pada tanah mengalami penambahan elektron akibat pengurangan atau tanpa oksigen (anaerob). Hal ini sesuai dengan pendapat Abdunnur *et al.* (2004) bahwa proses dekomposisi bahan organik dapat terjadi baik dalam kondisi reduksi maupun oksidasi. Lebih lanjut Goltzman (1990) mengemukakan bahwa salah satu metode untuk melihat proses dekomposisi bahan-bahan organik dalam sedimen adalah dengan melihat zona reduksi atau oksidasi.

Selama pemeliharaan udang bahan organik yang terakumulasi di dasar tambak berupa sedimen akan semakin meningkat dengan bertambahnya umur pemeliharaan. Peristiwa tersebut diikuti dengan penurunan potensial redoks tanah dan penurunan oksigen terlarut. Penurunan oksigen ini disebabkan karena oksigen banyak dipakai untuk respirasi udang yang terus meningkat biomasanya, penguraian bahan organik serta untuk mengoksidasi bahan-bahan yang lain. Kandungan oksigen dalam sedimen berpengaruh besar terhadap nilai redoks potensial dan pH sedimen selain itu dapat pula dijadikan sebagai kontrol reaksi kimia ion-ion antar air dan sedimen. Banyaknya bahan organik, jumlah bakteri yang hidup dalam substrat dan kurangnya sirkulasi air menyebabkan kadar oksigen dalam substrat menurun. Keadaan ini dapat mengubah kondisi substrat kedalam lingkungan reduksi (Emiyarti 2004).

Nilai pH dapat digunakan sebagai indikator kesuburan kimiawi tanah, karena

dapat mencerminkan ketersediaan hara dalam tanah tersebut. Nilai pH tanah tambak penelitian berkisar antara 6,90 - 7,70. Menurut Boyd (1992), pH tanah mempengaruhi kecepatan penguraian bahan organik di dasar tambak. Potter (1976), diacu dalam Meagaung (2000) mengemukakan bahwa ditinjau dari ketersediaan hara, maka pH tanah dasar tambak yang baik adalah 6,5-8,0. Maswardi *et al.* (2003), nilai pH yang baik untuk budidaya di tambak berkisar antara 6-8. Budiardi (1998) memperoleh nilai pH tanah pada 8 petak tambak udang intensif di Karawang, Jawa Barat berkisar antara 5,2-7,0 dengan rata-rata 6,4. Sementara Meagaung (2000) memperoleh hasil pengukuran nilai pH tanah pada 50 petak tambak Intensif di Sulawesi Selatan berkisar antara 6,11-7,11 dengan rata-rata 6,68. Berdasarkan hal tersebut maka nilai pH tanah tambak penelitian cukup optimal dan layak untuk budidaya udang intensif. Reaksi tanah rendah akan meningkatkan kandungan bahan organik total tanah. Hal ini disebabkan karena pH tanah berpengaruh secara langsung dengan aktivitas mikroorganisme tanah untuk melakukan proses penguraian bahan organik tanah (Boyd, 1992).

Jumlah total populasi koloni bakteri yang didapatkan pada sedimen dasar tambak dilokasi penelitian berkisar antara $2,02 \times 10^5$ hingga $2,37 \times 10^9$, dengan rata-rata $5,68 \times 10^7$ koloni per gram tanah. Menurut Pantjara *et al.* (1997) mendapatkan populasi bakteri pada tanah gambut berkisar $4,7 \times 10^2$ - $2,0 \times 10^8$ CFU/g tanah kering. Meagaung (2000) mendapatkan jumlah total populasi koloni bakteri pada sedimen dasar di 50 tambak intensif di Sulawesi Selatan berkisar antara $2,3 \times 10^5$ hingga $1,5 \times 10^8$, dengan rata-rata $2,6 \times 10^7$ CFU/g tanah. Lebih lanjut dikatakan bahwa komposisi genus bakteri yang dominan terdapat pada sedimen tambak udang intensif adalah *Pseudomonas* 33,1 %, *Bacillus* 29,69 %, *Actinomyces* 23,63 %, *Enterobacteriaceae* 12,44 % dan *Vibrio* 0,8 %. Avnimelech dan Rivto (2003) mendapatkan jumlah bakteri pada sedimen

tambak udang yang menggunakan pupuk kandang (kotoran ayam) sebesar 4×10^{13} bakteri/m², yang jumlahnya 2-3 kali jumlah bakteri yang terdapat dalam kolom air. Bufford *et al.* (1998) melaporkan jumlah bakteri sebanyak $15,5 \times 10^9$ sel/g tanah pada bagian tengah/pusat tambak udang dimana kotoran/lumpur terakumulasi dan pada bagian tepi/periphery ditemukan sebanyak $8,1 \times 10^9$ sel/g tanah.

Kebutuhan oksigen terlarut merupakan faktor utama yang mempengaruhi proses dan kondisi di perbatasan antara air dan sedimen tambak. Kebutuhan oksigen pada sedimen merupakan indikator tingkat intensitas proses mineralisasi dan metabolisme komunitas benthik. Hasil pengukuran konsumsi oksigen sedimen selama penelitian berkisar antara $0,00034 - 0,0048$ mg O₂/cm²/jam dengan rata-rata $0,00235 \pm 0,00128$ mg O₂/cm²/jam (Tabel 2). Pengukuran konsumsi oksigen sedimen pada tambak tersebut terlihat kecenderungan mengalami peningkatan seiring dengan waktu pemeliharaan udang. Menurut Madenjian (1990) bahwa penggunaan total oksigen dalam tambak udang windu didominasi oleh sedimen, air tambak dan udang masing-masing 51, 45, dan 4 %. Lebih lanjut dikatakan bahwa kebutuhan oksigen sedimen tambak udang yang diperoleh sebesar $298 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Proses mineralisasi aerob di area *sediment-water interface* di dasar tambak udang super intensif telah dilaporkan oleh Undu *etal.* (2014) dimana laju konsumsi oksigen selama proses mineralisasi tersebut sebesar $5,8 \text{ mg/L/jam/m}^2$. Faktor-faktor yang

terpilih masuk dalam model konsumsi oksigen sedimen sebanyak 5 variabel yakni umur (masa pemeliharaan), bahan organik, total bakteri, pH dan potensial redoks (Tabel 3). Terdapat 4 pasang variabel yang memiliki hubungan erat dengan konsumsi oksigen sedimen yakni antara konsumsi oksigen sedimen dengan potensial redoks (0,917), antara konsumsi oksigen sedimen dengan umur atau masa pemeliharaan (0,832), antara konsumsi oksigen sedimen dengan pH (-0,744) dan antara konsumsi oksigen sedimen dengan total bakteri (0,632). Sementara korelasi antara variabel bebas terdapat 7 pasang peubah yang memiliki hubungan erat yakni nampak antara bahan organik tanah dengan potensial redoks (-0,585), antara total bakteri dengan potensial redoks (-0,541), antara total bakteri dengan pH (0,525), antara total bakteri dengan umur pemeliharaan (0,575), antara potensial redoks dengan pH (0,827), antara potensial redoks dengan umur (-0,932) dan antara pH dan umur/lama pemeliharaan (0,883).

Hubungan antara konsumsi oksigen sedimen dengan masing-masing variabel terlihat bahwa konsumsi oksigen di sedimen cenderung menurun (nilainya rendah) dengan semakin meningkatnya nilai pH dan potensial redoks (ke arah positif). Sebaliknya bahwa konsumsi oksigen di sedimen cenderung meningkat (nilainya tinggi) dengan semakin meningkatnya akumulasi bahan organik, peningkatan populasi bakteri dan semakin lamanya umur pemeliharaan (Gambar 1). Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada nilai potensial redoks meningkat ke arah positif maka

Tabel 2. Rata-rata dan standard deviasi beberapa variabel kualitas sedimen tambak udang vaname selama pemeliharaan.

Variabel	Kisaran	Rerata	Standar Deviasi
Kons.Oks.Sedimen (mg O ₂ /cm ² /jam)	0,00034 – 0,0048	0,00235	0,00128
Bahan Organik Total (%)	0,90616 – 2,9578	1,8217	0,6731
Total Bakteri (Log CFU/g)	5,8403 – 9,0463	7,7549	0,7413
Potensial Redoks (mV)	- 157 - +146	11,6875	112,9446
pH	6,9 – 7,7	7,2887	0,2612

Tabel 3. Variabel yang dimasukkan dan variabel yang dikeluarkan dalam penentuan tingkat konsumsi oksigen sedimen tambak menggunakan metode Backward.

Model	Variabel yang dimasukkan dalam persamaan	Variabel yang dikeluarkan dalam persamaan	Metode
1	Umur, B.Organik, Bakteri, pH, Redoks (a)	.	Enter
2	.	pH	Backward (Kriteria: Probabilitas dari F untuk dikeluarkan $\geq 0,100$).
3	.	Umur	Backward (Kriteria: Probabilitas dari F untuk dikeluarkan $\geq 0,100$).
4	.	B.Organik	Backward (Kriteria: Probabilitas dari F untuk dikeluarkan $\geq 0,100$).
5	.	Bakteri	Backward (Kriteria: Probabilitas dari F untuk dikeluarkan $\geq 0,100$).

Keterangan:

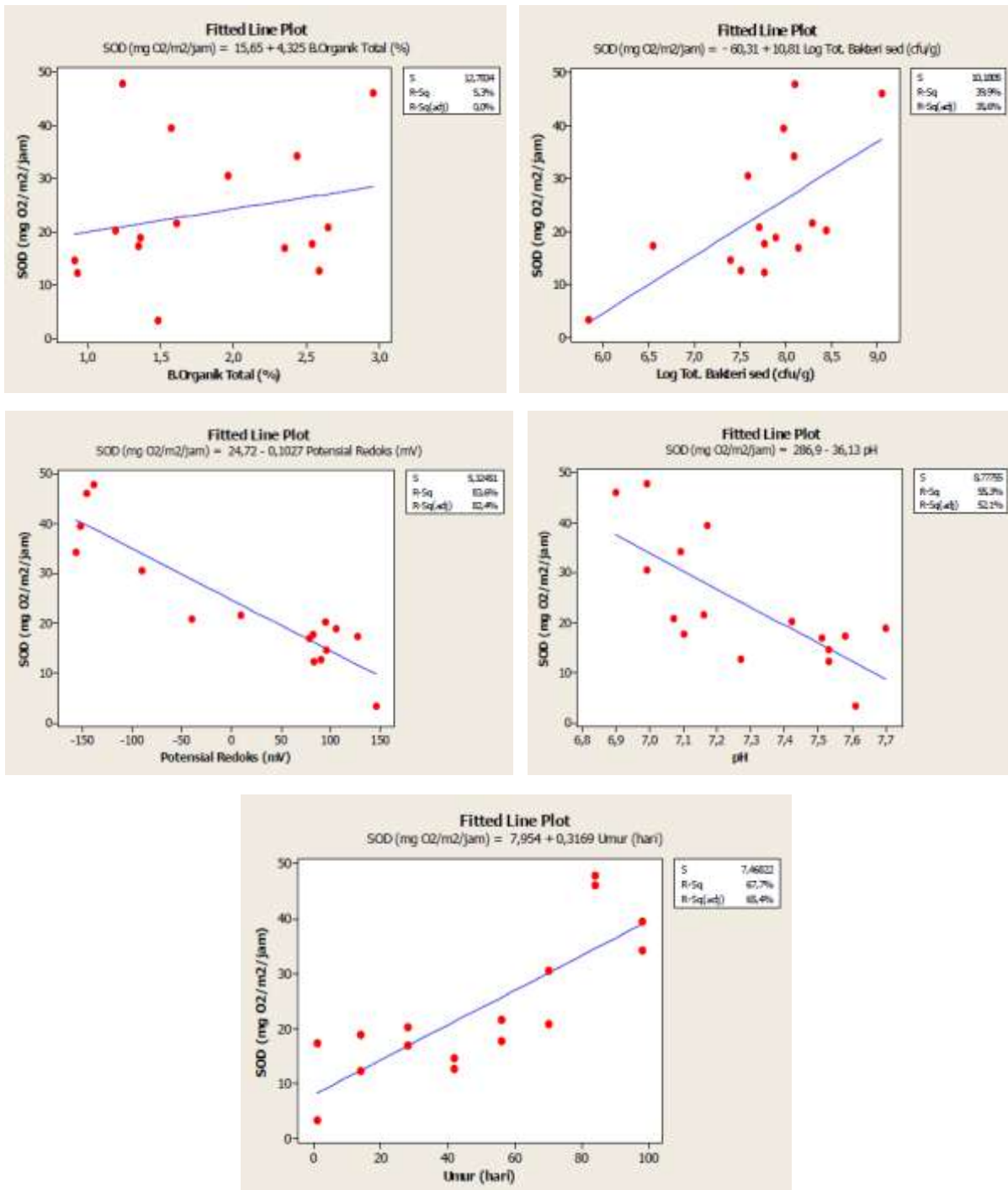
a Semua variable dimasukkan dalam persamaan.

b Variabel terikat/tergantung: SOD (*sediment oksigen demand*/konsumsi oksigen sediment)

kondisi sedimen berada pada kondisi yang oksidasi dimana kandungan oksigen cukup untuk merombak bahan organik dengan kondisi pH yang netral. Nilai pH sedimen tersebut mendukung aktivitas mikroorganisme tanah untuk melakukan proses penguraian bahan organik tanah, sehingga jumlah kebutuhan oksigen (SOD) di substrat/sedimen menjadi lebih sedikit (nilainya rendah). Sementara semakin bertambahnya umur pemeliharaan udang maka bahan organik yang terakumulasi di dasar tambak juga semakin meningkat yang menyebabkan peningkatan jumlah populasi bakteri sebagai dekomposer dalam proses perombakan bahan organik yang membutuhkan sejumlah oksigen. Hal tersebut mengakibatkan jumlah kebutuhan oksigen (SOD) di substrat/sedimen dasar tambak menjadi lebih banyak (nilainya

tinggi). Bahan organik yang terakumulasi selama proses pengendapan dimineralisasi oleh bakteri. Dalam proses mineralisasi tersebut, oksigen terlarut dikonsumsi oleh bakteri sehingga semakin banyak bahan organik yang termineralisasi maka konsentrasi oksigen semakin berkurang dan pada akhirnya menyebabkan kondisi anaerob dan mineralisasi bahan organik terjadi secara reduksi (Suplee dan Cotner, 1996; Moriarty, 1997; Avnimelech dan Ritvo, 2003).

Berdasarkan hasil analisis regresi dengan membandingkan antara semua variabel dengan konsumsi oksigen sedimen dari model hubungan yang terbentuk dengan nilai koefisien regresinya, hubungan konsumsi oksigen sedimen dengan variabel potensial redoks menunjukkan nilai korelasi dan koefisien regresi yang lebih tinggi dibanding



Gambar 1. Hubungan konsumsi oksigen sedimen dengan variabel bahan organik, total bakteri, potensial redok, pH dan umur pemeliharaan.

dengan variabel lainnya, dengan nilai $r = -0,914$ dan $R^2 = 0,836$ (Tabel 4). Nilai $r = -0,914$ tersebut berarti bahwa adanya tingkat hubungan yang tinggi (91,40%) antara konsumsi oksigen sedimen dengan potensial

redoks. Nilai $R^2 = 0,836$ berarti bahwa variasi yang terjadi terhadap besar kecilnya konsumsi oksigen sedimen 83,60 % dapat diterangkan oleh karena adanya perubahan besar kecilnya nilai potensial redoks dan

Tabel 4. Model Regresi hubungan konsumsi oksigen sedimen dengan variabel bahan organik, total bakteri, potensial redoks, pH dan umur pemeliharaan.

Hubungan	Model Regresi	Nilai R ²
SOD Vs Bahan Organik	$Y = 15,65 + 4,33 X_1$	0,053
SOD Vs Total Bakteri	$Y = -60,31 + 10,81 X_2$	0,399
SOD Vs Potensial Redoks	$Y = 24,72 - 10,27 X_3$	0,836
SOD Vs pH	$Y = 286,9 - 36,13 X_4$	0,553
SOD Vs Umur	$Y = 7,954 + 31,69 X_5$	0,677

Keterangan :

SOD=kebutuhan oksigen di sedimen dasar (*sedimen oxygen demand*)

X₁=bahan organik total, X₂=total bakteri sedimen, X₃=potensial redoks,

X₄=pH dan X₅=umur pemeliharaan.

sisanya sebesar 16,4 % diterangkan oleh faktor lain. Sedangkan nilai R² adjusted = 0,824, berarti bahwa nilai R² yang disesuaikan sehingga gambarannya mendekati mutu penjenjangan model dalam populasi bernilai 0,824.

Berdasarkan hasil analisis statistik yang dilakukan, dengan mengajukan semua variabel yang dianggap berhubungan dengan konsumsi oksigen sedimen, maka diperoleh 5 model persamaan regresi. Dari kelima model tersebut dipilih model terbaik dengan melihat nilai R² yang disesuaikan (adjusted R²) terbesar, nilai standar galat estimasi terendah dan uji signifikansi model regresi dan koefisien regresi menggunakan uji F dan uji t. Dari hasil pengujian yang dilakukan terlihat bahwa nilai R² yang disesuaikan tertinggi (0,847) didapatkan pada model yang ke-3, berarti akan semakin baik bagi model regresi, karena variabel bebas dapat menjelaskan variabel tergantung lebih besar. Dalam hal ini 84,7 % konsumsi oksigen sedimen dalam tambak udang vaname dapat dijelaskan oleh variabel potensial redoks, total bakteri dan bahan organik, sedangkan sisanya (15,3 %) dijelaskan oleh faktor lain. Nilai standar galat estimasi (standar error of estimate) terendah (0,000495 mg O₂/cm²/jam) dijumpai pada Model 3, dimana standar galat estimasi lebih kecil dari standar deviasi konsumsi oksigen sedimen yang besarnya 0,00128 mg O₂/cm²/jam, maka model regresi lebih baik dalam bertindak sebagai prediktor konsumsi

oksigen sedimen. Selanjutnya dari hasil uji ragam atau uji F, menunjukkan Model 3 memiliki F hitung sebesar 28,724 dan nilai P sebesar 0,001, maka persamaan regresi dari Model 3 dapat digunakan untuk memprediksi konsumsi oksigen sedimen dalam tambak udang vaname (Tabel 5). Variabel yang dominan berperan dalam menentukan konsumsi oksigen sedimen tambak digambarkan dalam persamaan regresi sebagai berikut :

$$Y = 0,0000496 + 0,00025 X_1 + 0,00037 X_2 - 0,00000948 X_3 \dots\dots\dots(1)$$

Dimana: Y=konsumsi oksigen sedimen, X₁=bahan organik total, X₂=total bakteri, X₃=potensial redoks.

Berdasarkan model 3 pada tabel 5 dibawah ini, terlihat bahwa konstanta sebesar 0,0000496 yang berarti konsumsi oksigen sedimen tambak dapat diprediksi mencapai 0,0000496 mg O₂/cm²/jam walaupun tidak ada kontribusi dari ketiga variabel tersebut. Dari 5 variabel yang dikaji dalam studi ini, ternyata potensial redoks merupakan variabel yang paling berpengaruh dalam menentukan kebutuhan oksigen sedimen tambak udang vaname. Koefisien regresi dari variabel potensial redoks sebesar -0,00000948 yang berarti bahwa setiap peningkatan nilai potensial redoks dapat menurunkan konsumsi oksigen sedimen sebesar 0,00000948 mg O₂/cm²/jam. Hal ini dapat dijelaskan bahwa kondisi potensial redoks yang bernilai

Tabel 5. Ringkasan model dalam menentukan variabel-variabel yang berpengaruh terhadap konsumsi oksigen sedimen.

Model	r	R ²	R ² yang dikoreksi	Standar galat estimasi
1	0,943(a)	0,889	0,833	0,0005178168
2	0,941(b)	0,885	0,843	0,0005034008
3	0,937(c)	0,878	0,847	0,0004959126
4	0,929(d)	0,862	0,841	0,0005060126
5	0,914(e)	0,836	0,824	0,0005324706

Keterangan :

a Prediktor :Peubah bebas umur, Bahan Organik, Total Bakteri, pH, Redoks

b Prediktor: Peubah bebas umur, Bahan Organik, Total Bakteri, Redoks

c Prediktor: Peubah bebas Bahan Organik, Total Bakteri, Redoks

d Prediktor: Peubah bebasTotal Bakteri, Redoks

e Prediktor: Peubah bebasRedoks

negatif berarti bahwa kondisi sedimen tambak berada pada kondisi yang reduktif dimana kandungan oksigen kurang sehingga proses penguraian bahan organik selama proses budi daya akan terhambat sehingga menyebabkan akumulasi bahan organik pada dasar tambak, namun jika potensial redoks meningkat ke arah positif maka kondisi sedimen berada pada kondisi yang oksidasi dimana kandungan oksigen cukup untuk merombak bahan organik, sehingga jumlah kebutuhan oksigen di substrat/sedimen menjadi lebih sedikit.

Variabel kedua dan ketiga yang berpengaruh terhadap kebutuhan oksigen pada sedimen dasar tambak udang vaname adalah total bakteri sedimen dan kandungan bahan organik total. Hal ini jelas terlihat pada koefisien regresi dari variabel total bakteri yang bernilai (+ 0,00025) dan bahan organik total yang bernilai (+ 0,00037), yang berarti bahwasetiap peningkatan jumlah koloni bakteri/gram tanah akan meningkatkan kebutuhan oksigen pada sedimen dasar tambak sebesar 0,00025 mg O₂/cm²/jam. Demikian halnya dengan bahan organik, setiap penambahan/peningkatan jumlah bahan organik dalam tambak, maka akan meningkatkan kebutuhan oksigen pada sedimen dasar tambak sebesar 0,00037 mg O₂/ cm²/jam. Hal ini dapat dijelaskan bahwa selama masa budidaya

udang, bahan organik yang terakumulasi berupa sedimen semakin meningkat dengan bertambahnya umur pemeliharaan karena seiring dengan pertumbuhan udang, maka jumlah pakan akan semakin bertambah sehingga sisa pakan hasil metabolisme udang juga akan bertambah. Beban bahan organik buangan yang harus dipikul oleh tambak budidaya udang semakin meningkat. Peningkatan bahan organik dalam tambak dapat menyebabkan peningkatan jumlah populasi bakteri sebagai dekomposer dalam proses perombakan bahan organik yang membutuhkan sejumlah oksigen. Oksigen secara umum sangat diperlukan dalam proses dekomposisi terutama bagi dekomposer yang bersifat aerobik. Sebenarnya baik bakteri aerob maupun anaerob sama-sama membutuhkan oksigen dan sama-sama melakukan proses dekomposisi. Bakteri aerob dapat memanfaatkan oksigen bebas yang terlarut dalam perairan sementara bakteri anaerob tidak dapat memanfaatkan oksigen bebas dan hanya menggunakan oksigen yang terkandung dalam senyawa-senyawa yang ada dalam perairan. Hal inilah menyebabkan laju penurunan oksigen dalam air dan peningkatan kebutuhan oksigen disedimen dasar

Bakteri memegang peranan penting dalam dekomposisi nutrisi organik di dalam kegiatan produksi akuakultur dan sedimen

tambak (Hargreaves 1988). Di dalam kolam atau tambak, bakteri sering ditemukan di sedimen dasar, yang biasanya mengandung banyak bahan organik dan aerasi kurang bahkan anaerob (Moriarty, 1999; Burford *et al.*, 2003). Lebih lanjut Ginting (1995) mengemukakan bahwa peningkatan bahan organik dalam tambak dapat menyebabkan meningkatnya populasi bakteri. Bahan organik yang ada akan digunakan bakteri sebagai sumber pakan untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Populasi bakteri yang ditemukan lebih banyak terdapat dalam tanah/sedimen dibandingkan dalam air. Hal ini menunjukkan tingginya penimbunan bahan organik pada tanah akibat sisa pakan dan kotoran udang. Menurut Sunarto (2003) bahwa dekomposisi merupakan proses yang dinamis dan sangat dipengaruhi oleh keberadaan dekomposer baik jumlah maupun diversitasnya. Sedangkan keberadaan dekomposer sendiri sangat ditentukan oleh faktor-faktor lingkungan baik kondisi kimia, fisika maupun biologi. Faktor-faktor utama yang sangat berpengaruh terhadap dekomposisi antara lain oksigen, bahan organik dan bakteri sebagai agen utama dekomposisi. Tersedianya nutrisi (bahan organik) dan keberadaan oksigen diperairan menjadi faktor utama yang menentukan keberadaan bakteri sebagai pelaku dekomposisi, meskipun hal ini bergantung pada jenis dekomposernya.

Sementara Menurut Almadi (2006) bahwa variabel yang mempengaruhi konsumsi oksigen sedimen tanah dasar tambak tradisional (tambak masam) yakni kandungan pirit, bahan organik, potensial redoks, umur tambak dan nilai pH tanah.

IV. KESIMPULAN

Tiga variabel secara nyata berpengaruh terhadap tingkat konsumsi oksigen sedimen yaitu berturut-turut dari yang terbesar pengaruhnya adalah potensial redoks, total populasi bakteri, dan bahan organik total. Tingkat konsumsi oksigen sedimen di tambak akan rendah dengan potensial redoks

meningkat ke arah positif, dan jumlah total populasi bakteri serta bahan organik yang rendah melalui pengelolaan pakan yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdunnur, I. Suyatna I, dan I. Rafii. 2004. Variasi nilai potensial redoks dalam lapisan sedimen sebagai indikator stabilitas lingkungan perairan pesisir di Muara Badak, Kutai Kartanegara. *J. Ilmu Perikanan Tropis*, 4(1):24-35.
- Almadi, I.F. 2006. Konsumsi oksigen tanah dasar tambak tradisional di desa Ambarawang laut, Kecamatan Sambaja, Kabupaten Kutai Kartanegara. [Tesis]. Program Pascasarjana Universitas Mulawarman. Samarinda. 85hlm.
- Alongi, D.M., J. Pfitzner, L.A. Trott, F. Tirendi, P. Dixon, and D.W. Klumpp. 2005. Rapid sediment accumulation and microbial mineralization in forest of the mangrove *Kandeliacandel* in the Jiulongjiang Estuary, China. *Estuaria, Coastal and Shelf Science*, 63:605-618.
- Anongponyoskun, A., Choksuchart, J. Salae-noi, and P. Aranyakananda. 2012. Dissolved oxygen budget for pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture in earthen ponds. *Kasetsart J. Nat. Sci.*, 46:751-758
- Arifin, Z., D. Adiwijaya, U. Komarudin, A. Nur, A. Susanto, A. Taslihan, K. Ariawan, M. Mardjono, E. Sutikno, Supito, dan M. S. Latief. 2007. Penerapan *best management practices* (BMP) pada budidaya udang windu (*Penaeus monodon*) intensif. Departemen Kelautan dan Perikanan. Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya. Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau. Jepara. 77hlm.
- Avnimelech, Y., J.R. McHenery, and D.J. Ross. 1984. Decomposition of organic matter in lake sediments. *Envi-*

- ronmental Science and Technology*, 18(1):5-11.
- Avnimelech, Y. 1995. Sludge accumulation in the shrimp pond bottom: significance and management. *Asian Shrimp News*, 2p.
- Avnimelech, Y. and G. Ritvo. 2001. Aeration, mixing and sludge control in shrimp ponds. *Glob. Aquac. Alliance Advocate*, 4:51-53.
- Avnimelech, Y. and G. Ritvo. 2003. Shrimp and fish pond soil: process and management. *Aquaculture*, 220:549-567.
- Boyd, C.E. 1992. Shrimp pond bottom soil and sediment management. In: Wyban, J. (ed.). Proceedings of the special session on shrimp farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, L.A., U.S.A. 166-181pp.
- Boyd, C.E. 1995. Bottom soil sediment and pond aquaculture. Chapman and Hall. New York. 348p.
- Boyd, C.E. and C.S. Toker. 1998. Pond aquaculture water quality management. Kluwer Academic Publisher. Boston. 700p
- Boyd, C.E., L. Massaut, and L.J. Weddig, 1998. Towards reducing environmental impacts of pond aquaculture. INFOFISH International 2/98. 27-33pp.
- Boyd, C.E. 1999. Management of shrimp ponds to reduce the eutrophication potential of effluents. *The Advocate*. 12-14pp.
- Bratvold, D. and C.L. Browdy. 2001. Effect of sand sediment and vertical surfaces (AquaMatsTM) on production, water quality, and microbial ecology in an intensive *Litopenaeus vannamei* culture system. *Aquaculture*, 195:81-94
- Brune, D.E., G. Schwartz, A.G.Eversole, J.A.Collier, and S.E. Schwedler. 2003. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquaculture Engineering*, 28:65-86.
- Budiardi, T. 1998. Evaluasi akumulasi bahan organik, penyiponan dan produksi udang windu (*Penaeus monodon* Fab). pada budidaya intensif [Tesis]. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 63hlm.
- Bufford, M.A., E.L. Peterson, J.C.F. Baiano, and N.P. Preston. 1998. Bacteria in shrimp pond sediments: their role in mineralizing nutrients and some suggested sampling strategies. *Aquac. Res.*, 29:843-849.
- Bufford, M.A. and A.R. Longmore. 2001. High ammonium production from sediments in hypereutrophic shrimp pond. *Mar. Ecol., Prog. Ser.*, 244: 187-195
- Burford, M.A., P.J. Thompson, R.P. McIntosh, R.H. Bauman, and D.C. Pearson. 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in belize. *Aquaculture*, 219:393-411.
- Emiyarti, 2004. Karakteristik fisika kimia sedimen dan hubungannya dengan struktur komunitas makrozoobenthos di Perairan Teluk Kendari. Tesis. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor. 95hlm.
- Ellis, M.S. 1992. Oxygen, carbon and sulfur cycling in the sediments of hypereutrophic mesocosms (shrimp mariculture ponds). [Thesis]. Texas A & M University, Texas. 152p
- Ginting, E.L. 1995. Hubungan habitat tambak udang windu (*Penaeus monodon*) dengan populasi bakteri *Vibrio* sp . [Tesis]. Fakultas Pasacasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 85 hlm.
- Gunarto, 2006. Apakah nilai reduksi dan oksidasi potensial sediment tambak berpengaruh terhadap produksi udang windu di tambak?. *Media Akuakultur*, 1(3):91-96.
- Hanafiah, K.A. 2005. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Raja Grafindo Persada. Jakarta. 360hlm.

- Hagreaves, J.A. 1988. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*, 166:181-212.
- Madenjian, C.P. 1990. Pattern of oxygen production and consumption in intensively shrimp ponds. *Aquac. Fish Management*, 12:402-417.
- Maswardi, A., E. Sutikno, dan D. Adiwijaya. 2003. Usaha budidaya tambak dan pembenihan terpadu. Departemen Kelautan dan Perikanan. Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya. Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau. Jepara. 16hlm.
- Mattjik, A.A. dan M. Sumertajaya. 2002. Perancangan percobaan dengan aplikasi SAS dan Minitab. Jilid 1. Jurusan Statistik Fakultas MIPA. Institut Pertanian Bogor. 281hlm.
- Meagaung, W.D.M. 2000. Karakterisasi dan pengelolaan residu bahan organik pada dasar tambak udang intensif [Disertasi]. Makassar. Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin. 128hlm.
- Monoarfa, W. dan A. Hanafi. 1997. Efektifitas pemupukan terhadap perubahan potensi reduksi-oksidasi pada tanah tambak budidaya udang intensif. Torani. *Buletin Ilmu Kelautan*, 7 (2):191-198.
- Moriarty, D.J.W. 1999. Disease control in shrimp aquaculture with probiotic bacteria. In: Bell, C. R., Brylinsky, M. and P. Johnson-Gren (eds.). Microbial biosystems: new frontiers. 8th International Symposium on Microbial Ecology Canada: Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax. 237-243pp.
- Mustafa, A. dan E. Ratnawati. 2005. Faktor pengelolaan yang berpengaruh terhadap produksi rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam (Studi kasus di Kabupaten Luwu, Provinsi Sulawesi Selatan). *J. Penelitian Perikanan Indonesia*, 11(7):67-77
- Mustafa, A. 2009. Hubungan antara faktor lingkungan dengan produksi udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di tambak Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur (FITA). Pusat Riset Perikanan Jakarta. Badan Riset Kelautan dan Perikanan. Jakarta. Surabaya 23-25 Juni 2009. Hlm.: 375-385.
- Pantjara, B., A. Hanafi, dan A. Mustafa. 1997. Karakterisasi dan identifikasi mikroba pengurai bahan organik asal tanah gambut. Laporan hasil penelitian. Balai Penelitian Perikanan Pantai, Maros. 14 hlm.
- Peterson, J. and P. Daniels. 1992. Shrimp industry perspectives on soil and sediment management. In: Wyban, J. (ed.). Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, L.A, USA. 182-193pp.
- Poernomo, A. 1996. Peranan tata ruang dan desain interior kawasan pesisir dan pengelolaannya terhadap kelestarian budidaya tambak. Disampaikan pada pertemuan teknis pengembangan sistem pengendalian penyakit udang. Direktorat Jenderal Perikanan, BBAP Jepara. 1-2 Oktober 1996. 35hlm.
- Pratista, A. 2005. Aplikasi SPSS 10.05 dalam statistik dan rancangan percobaan. Penerbit Alfabeta. 138hlm.
- Primavera, J.H. 1994. Environmental and socioeconomic effect of shrimp farming: The Philippine Experience, *Info fish International*, 1:44-49.
- Sulaiman, W. 2004. Analisis regresi menggunakan SPSS, contoh kasus dan pemecahannya. Penerbit Andi. Jawa Barat. 138hlm.
- Sunarto, 2003. Peranan dekomposisi dalam produksi pada ekosistem di laut. Tugas Pengantar Falsafah Sains. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. 17hlm.

- Suplee, M.W., and J.B. Cotne. 1996. Temporal changes in oxygen demand and bacterial sulfate reduction in inland shrimp ponds. *Aquaculture*, 145:141-158.
- Undu, M.C., Makmur, dan Rachmansyah. 2014. Studi pendahuluan laju efflux nutrien sedimen di tambak udang *Litopenaeus vannamei* super intensif. Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur 2014. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya. Jakarta. Hlm.:261-273.
- Diterime* : 25 Februari 2015
Direview : 6 November 2015
Disetujui : 28 Desember 2015